



PATENT APPLICATION

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of:)
YOSHINORI OHSAKI) : Examiner: Unassigned
Application No.: 09/577,978) : Group Art Unit: 2851
Filed: May 25, 2000) :
For: PROJECTION EXPOSURE) :
APPARATUS, AND DEVICE) :
MANUFACTURING METHOD) :
USING THE SAME) : October 3, 2000

Commissioner for Patents
Washington, D.C. 20231

CLAIM TO PRIORITY

Sir:

Applicant hereby claims priority under the
International Convention and all rights to which he is
entitled under 35 U.S.C. § 119 based upon the following
Japanese Priority Application: JP 11-149586, filed on May 28,
1999.

I hereby certify that this correspondence is being deposited with the
United States Postal Service as first-class mail in an envelope
addressed to: Commissioner for Patents, Washington, D.C. 20231 on
October 3, 2000

(Date of Deposit)

Elizabeth F. Holowacz

(Name of Attorney for Applicant)

Signature

Date of Signature

#7
10/31/00
M. P. Rudger



A certified copy of the priority document is

closed.

Applicant's undersigned attorney may be reached in our New York office by telephone at (212) 218-2100. All correspondence should continue to be directed to our address given below.

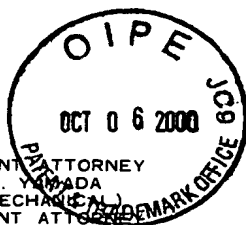
Respectfully submitted,

Elizabeth J. Glouancy
Attorney for Applicant
Registration No. 42,667

FITZPATRICK, CELLA, HARPER & SCINTO
30 Rockefeller Plaza
New York, New York 10112-3801
Facsimile: (212) 218-2200

EFH:meg

NY_MAIN 116471 v 1



PATENT ATTORNEY
R. YAMADA
(MECHANICAL)
PATENT ATTORNEY
Y. ENDO
(PHYSICO-CHEMICAL)

T O K O
INTERNATIONAL PATENT OFFICE

HASEGAWA BLDG, 4F
7-7, TORANOMON 3-CHOME
MINATO-KU TOKYO
〒105-0001 JAPAN

TELEPHONE: (03) 3434-5857
FACSIMILE: (03) 3433-2978

VIA DHL

Messrs. Fitzpatrick, Cella, Harper & Scinto
30 Rockefeller Plaza
New York, New York 10112-3801
U.S.A.

CFK

Re: U.S. Ser. No. 09/577,978

Your Case(s):

Our Case(s): CFE3026US

SEP. 25. 2000

RECEIVED
SEP 29 P 3:30
FITZPATRICK CELLA HARPER & SCINTO

Dear Sirs;

With reference to the above-identified Application,
we enclose herewith a Certified Copy of each of the following
Convention Priority Application(s).

<u>COUNTRY</u>	<u>APPLICATION NO.</u>	<u>FILING DATE</u>	<u>CERTIFICATE NO. (DATE)</u>
01) Japan	149586/1999(Pat.)	28/MAY/1999	3046050/2000 (23/JUN/2000)

Best Regards,

Yours faithfully,

T O K O
International Patent Office

Ryuichi YAMADA

RY/AI/wh
Encle(s).



日本国特許庁
PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日

Date of Application:

1999年 5月28日

出願番号

Application Number:

平成11年特許願第149586号

出願人

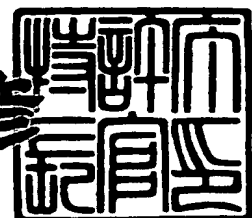
Applicant (s):

キヤノン株式会社

2000年 6月23日

特許庁長官
Commissioner,
Patent Office

近藤隆彦



出証番号 出証特2000-3046050

【書類名】 特許願

【整理番号】 3907099

【提出日】 平成11年 5月28日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H01L 21/30

【発明の名称】 投影露光装置及びそれを用いたデバイスの製造方法

【請求項の数】 27

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社
社内

 【氏名】 大寄 美紀

【特許出願人】

 【識別番号】 000001007

 【氏名又は名称】 キヤノン株式会社

 【代表者】 御手洗 富士夫

【代理人】

 【識別番号】 100086818

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 高梨 幸雄

【手数料の表示】

 【予納台帳番号】 009623

 【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

 【物件名】 明細書 1

 【物件名】 図面 1

 【物件名】 要約書 1

 【包括委任状番号】 9703877

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 投影露光装置及びそれを用いたデバイスの製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 第 1 物体の転写用パターンを第 1 の照明条件で照明する第 1 の照明手段と、該第 1 の照明手段で照明した第 1 物体の転写用パターンを第 2 物体に投影する投影光学系と、該第 1 の照明条件と異なる第 2 の照明条件を有する第 2 の照明手段と、該第 2 の照明手段で照明した特定パターンを該投影光学系で結像させ、該特定パターンの像の光強度分布を検出する光強度検出手段と該光強度検出手段からのデータに基づいて該投影光学系の波面収差を測定する波面収差測定手段と、を有していることを特徴とする投影露光装置。

【請求項 2】 前記波面収差測定手段は前記特定パターンの像の光強度分布を前記投影光学系の光軸方向の複数の位置で求め、該特定パターンの像の光強度分布から該像の位相分布を求めて、該像の位置分布より該投影光学系の波面収差を測定していることを特徴とする請求項 1 の投影露光装置。

【請求項 3】 第 1 物体上の転写用パターンを第 1 の照明条件で照明する第 1 の照明手段と、該転写用パターンを感光性の基板上の露光領域に投影、露光する投影光学系とを有する投影露光装置において、該第 1 物体又は他の物体上の特定パターンを第 1 の照明条件とは異なる第 2 の照明条件で照明する第 2 の照明手段と、該投影光学系を介して形成される該特定パターン像の結像位置での光強度分布と 1 つ以上のデフォーカス位置での像の光強度分布、又は複数のデフォーカス位置での光強度分布を検出する光強度検出手段と、該光強度検出手段からのデータに基づいて、該投影光学系の波面収差情報を得る波面収差測定手段とを有していることを特徴とする投影露光装置。

【請求項 4】 前記第 1 の照明条件と第 2 の照明条件とは、空間的コヒーレンシーが異なることを特徴とする請求項 1, 2 又は 3 の投影露光装置。

【請求項 5】 前記第 1 の照明条件が空間的に部分的コヒーレントあるいはインコヒーレント ($0.2 < \sigma \leq 1$ 、 0 、 σ = 第 1 の照明手段の開口数 / 投影光学系の開口数) であり、前記第 2 の照明条件が空間的にコヒーレントあるいは略コヒーレント ($\sigma \leq 0.2$ 、 σ = 第 2 の照明手段の開口数 / 投影光学系の開口数)

)であることを特徴とする請求項 1 から 4 のいずれか 1 項の投影露光装置。

【請求項 6】 第 1 物体上の転写用パターンを照明光学系を介して第 1 の照明条件で照明し、該転写用パターンを投影光学系を介して、感光性の基板上の露光領域に投影、露光する投影露光装置において、該照明光学系は、第 1 の照明条件と異なる第 2 の照明条件で該第 1 物体又は他の物体上の特定パターンを照明しており、該投影光学系を介して形成される該特定パターン像の結像位置での光強度分布と、1 つ以上のデフォーカス位置での光強度分布、又は複数のデフォーカス位置での光強度分布を検出する光強度検出手段と該光強度検出手段からのデータに基づいて、該投影光学系の波面収差情報を得る波面収差測定手段を有していることを特徴とする投影露光装置。

【請求項 7】 前記第 1 の照明条件が空間的に部分的コヒーレントあるいはインコヒーレント ($0.2 < \sigma \leq 1.0$ 、 σ = 照明光学系の開口数 / 投影光学系の開口数) であり、第 2 の照明条件が空間的にコヒーレントあるいは略コヒーレント ($\sigma \leq 0.2$ 、 σ = 照明光学系の開口数 / 投影光学系の開口数) であることを特徴とする請求項 6 の投影露光装置。

【請求項 8】 前記照明光学系は前記第 1 の照明条件から第 2 の照明条件への変更に際し、該照明光学系の一部を取り外すことを特徴とする請求項 6 又は 7 の投影露光装置。

【請求項 9】 前記照明光学系は前記第 1 の照明条件から第 2 の照明条件への変更に際し、該照明光学系の一部に別の光学系を付け加えることを特徴とする請求項 6 又は 7 の投影露光装置。

【請求項 10】 前記第 1 の照明条件から第 2 の照明条件への変更に際し、光源を変えることを特徴とする請求項 1 から 9 のいずれか 1 項の投影露光装置。

【請求項 11】 前記第 1 の照明条件から第 2 の照明条件への変更に際し、照明光学系の一部を取り外すこと、又は該照明光学系の一部に他の光学系を付加すること、又は光源を変えることのうち、少なくとも 1 つの変更を行っていることを特徴とする請求項 6 又は 7 の投影露光装置。

【請求項 12】 第 1 物体上の転写用パターンを照明光学系を介して第 1 の照明条件で照明し、該転写用パターンを投影光学系を介して、感光性の基板上の

露光領域に投影、露光する投影露光装置において、該第 1 物体又は他の物体上の特定パターンを該照明光学系の一部を介して前記第 1 の照明条件とは異なる第 2 の照明条件で照明し、該投影光学系により形成される結像位置での該特定パターンの像の光強度分布と 1 つ以上のデフォーカス位置での光強度分布、あるいは複数のデフォーカス位置での光強度分布を検出する光強度検出手段と、該光強度検出手段からのデータに基づいて位相回復法により、前記投影光学系の波面収差情報を得る波面収差測定手段を有していることを特徴とする投影露光装置。

【請求項 1 3】 前記第 1 の照明条件が、空間的に部分的コヒーレントあるいはインコヒーレント ($0.2 < \sigma \leq 1.0$ 、 σ = 照明光学系の開口数 / 投影光学系の開口数) であり、前記第 2 の照明条件が空間的にコヒーレントあるいは略コヒーレント ($\sigma \leq 0.2$ 、 σ = 照明光学系の開口数 / 投影光学系の開口数) であることを特徴とする請求項 1 2 の投影露光装置。

【請求項 1 4】 前記第 1 物体上の転写用パターンを照明光学系を介して第 1 の照明条件で照明し、該転写用パターンを投影光学系を介して、感光性の基板上の露光領域に投影、露光する投影露光装置において、該第 1 物体又は他の物体上の特定パターンを該照明光学系の全てあるいはその一部に別の光学系を加えて前記第 1 の照明条件とは異なる第 2 照明条件で照明し、該投影光学系により形成される結像位置での該特定パターン像の光強度分布と 1 つ以上のデフォーカス位置での光強度分布、あるいは複数のデフォーカス位置での光強度分布を検出する光強度検出手段と、該光強度検出手段からのデータに基づいて、該投影光学系の波面収差情報を得る波面収差測定手段を有していることを特徴とする投影露光装置。

【請求項 1 5】 前記第 1 の照明条件が空間的に部分的コヒーレントあるいはインコヒーレント ($0.2 < \sigma \leq 1.0$ 、 σ = 照明光学系の開口数 / 投影光学系の開口数) であり、前記第 2 の照明条件が空間的にコヒーレントあるいは略コヒーレント ($\sigma \leq 0.2$ 、 σ = 照明光学系の開口数 / 投影光学系の開口数) であることを特徴とする請求項 1 4 の投影露光装置。

【請求項 1 6】 前記第 1 の照明条件から前記第 2 の照明条件への変更に際し、光源を変えることを特徴とする請求項 1 2 から 1 5 のいずれか 1 項の投影露

光装置。

【請求項 17】 第 1 物体上の転写用パターンを第 1 の光学系を介して照明し、該転写用パターンを投影光学系を介して、感光性の基板上の露光領域に投影、露光する投影露光装置において、該第 1 物体又は他の物体上の特定パターンを第 2 の光学系を介して照明し、該投影光学系を介して形成される結像位置での該特定パターンの像の光強度分布とを 1 つ以上のデフォーカス位置での光強度分布、あるいは複数のデフォーカス位置での光強度分布を検出する光強度検出手段と、該光強度検出手段からのデータに基づいて、該投影光学系の波面収差情報を得る波面収差測定手段を有していることを特徴とする投影露光装置。

【請求項 18】 前記第 2 の光学系の前記第 1 物体又は他の物体への照明条件が、コヒーレント照明 ($\sigma = 0$ 、 $\sigma =$ 第 2 の光学系の開口数 / 投影光学系の開口数)、又は、略コヒーレント照明 ($\sigma \leq 0.2$) であることを特徴とする請求項 17 記載の投影露光装置。

【請求項 19】 前記第 2 の光学系が、前記投影光学系の波面収差情報を得るため以外の用途にも用いられる光学系であることを特徴とする請求項 17 記載の投影露光装置。

【請求項 20】 前記第 2 の光学系を、前記投影光学系の波面収差情報を得るために用いる場合と、それ以外の用途に用いる場合とで、該第 2 の光学系による前記第 1 物体又は他の物体上のパターンへの照明条件を変えることを特徴とする請求項 19 記載の投影露光装置。

【請求項 21】 前記投影光学系の波面収差情報を得る場合には、前記第 2 の光学系による前記第 1 物体又は他の物体への照明条件をコヒーレント照明 ($\sigma = 0$ 、 $\sigma =$ 第 2 の光学系の開口数 / 投影光学系の開口数)、又は、略コヒーレント照明 ($\sigma \leq 0.2$) であることを特徴とする請求項 19 又は 20 の投影露光装置。

【請求項 22】 前記第 1 の光学系が有する光源と前記第 2 の光学系が有する光源とが異なることを特徴とする請求項 17 から 19 のいずれか 1 項の投影露光装置。

【請求項 23】 前記投影光学系の波面収差情報を得る場合に必要とする前

記特定パターンの像の結像位置での光強度分布と 1 つ以上のデフォーカス位置での光強度分布、あるいは複数のデフォーカス位置での光強度分布を検出する光強度検出手段はナイフエッジ法を用いて計測していることを特徴とする請求項 1 から 2 2 のいずれか 1 項記載の投影露光装置。

【請求項 2 4】 前記投影光学系の波面収差情報を得る場合に必要とする、前記特定パターンの像の結像位置での光強度分布と 1 つ以上のデフォーカス位置での光強度分布、あるいは複数のデフォーカス位置での光強度分布を検出する光強度検出手段は拡大光学系によって拡大した後、光センサーに入射させ、計測することを特徴とする請求項 1 から 2 2 のいずれか 1 項記載の投影露光装置。

【請求項 2 5】 前記算出された波面収差に基づいて、前記投影光学系の収差を調整する調整機構を有することを特徴とする請求項 1 から 2 4 のいずれか 1 項記載の投影露光装置。

【請求項 2 6】 前記算出された球面収差と投影する転写用パターンに基づいて、前記投影光学系の収差を露光前に調整することを特徴とする請求項 1 から 2 5 のいずれか 1 項記載の投影露光装置。

【請求項 2 7】 請求項 1 から 2 6 のいずれか 1 項の投影露光装置を用いてレチクルとウエハとの位置合わせを行った後に、レチクル面上のパターンをウエハ面上に投影露光し、その後、該ウエハを現像処理工程を介してデバイスを製造していることを特徴とするデバイスの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は投影露光装置及びそれを用いたデバイスの製造方法に関し、例えば I C や L S I 等の半導体デバイスや C C D 等の撮像デバイスや液晶パネル等の表示デバイスや磁気ヘッド等のデバイスを製造する工程のうち、リソグラフィー工程において使用される投影露光装置や走査型露光装置においてレチクル等の第 1 物体面上のパターンをウエハ等の第 2 物体面上に投影光学系により投影する際に好適なものである。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

近年、IC、LSI等の半導体デバイスの微細加工技術として、マスク（レチクル）の回路パターン像を投影光学系（投影レンズ）により感光基板上に形成し、感光基板をステップアンドリピート方式またはステップアンドスキャン方式で露光する縮小投影露光装置（ステッパー）や走査型の投影露光装置が種々と提案されている。

【0003】

この種の露光装置では、レチクル上のパターンを所定の倍率（縮小率）で正確にウエハ上に転写することが要求されている。この要求に応えるためには、結像性能のよい、収差を抑えた投影レンズ（投影光学系）を用いることが重要である。特に、近年、半導体デバイスの一層の微細化要求により、投影光学系の通常の結像性能を超えるパターンを転写する場合が、多くなってきており、この結果、転写するパターンは、投影光学系の収差により敏感になってきている。一方で、投影レンズには露光面積の拡大、高NA化が求められており、これは収差補正をより困難にしている。

【0004】

こうした状況の中、露光装置に投影レンズを搭載した状態、すなわち実際に露光に使用する状態で、投影レンズの結像性能、中でも波面収差を計測したいとの要求が強くある。

【0005】

投影レンズの波面収差の計測方法の1つとして、位相回復法がある。位相回復法は、主に電子顕微鏡や大きな収差が存在する天体望遠鏡等における解像度向上に用いられてきた方法で、複数位置、例えば像面、瞳面、デフォーカス位置等における像の強度分布から像の位相分布を求めるものである。その位相分布から光学系の波面収差を算出している。

【0006】

位相回復法では、実際に計測した像面での像の強度分布を用い、任意に位相を与えた後、フーリエ変換し、瞳面での複素振幅分布を求める。次に、得られた複素振幅分布のうち、位相部はそのままとし、強度部にあたる絶対値のみを実際の

測定値に応じた値（瞳面での強度の平方根）に置き換え、これを新たな複素振幅分布とする。この新たな複素振幅分布を逆フーリエ変換し、像面上での複素振幅分布を求め、再び、位相部のみそのままとし、強度を実測値に置き換える。

【0007】

以上のような計算を繰り返し行うことで、像面及び瞳面での複素振幅分布を算出し、瞳面での複素振幅分布の位相分布から、投影レンズの波面収差を算出している。尚、位相回復法については後に本発明の実施形態において詳述している。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

位相回復法により、投影レンズの波面収差を算出する場合、理想的にはコヒーレント照明（ $\sigma = 0$ ）の条件下で像の強度分布を計測する必要がある。この為、 σ （照明系の開口数／投影レンズの開口数）の値が大きくなるに従い、算出される波面収差の誤差が大きくなる。例えば、波面収差を 0.01λ 程度の精度で算出する場合、 $\sigma \leq 0.1$ とする必要がある、 0.03λ 程度と若干精度を落とした場合でも $\sigma \leq 0.2$ とする必要がある。一方、レチクル上のパターンをウエハに焼き付ける場合には、部分的コヒーレントな照明条件下でレチクルを照明する。このため、露光装置の照明系は、通常 $0.2 < \sigma < 0.9$ 程度であり、 $\sigma \leq 0.2$ となるような照明系は実装されていない。さらに、露光装置の照明系では、インコヒーレント化するための数々の工夫もされている。

【0009】

すなわち、実際に露光の際に用いられる照明光学系をそのまま用いて、位相回復法により投影レンズの波面収差を求める場合には、精度上の問題がある。

【0010】

本発明はマスクのパターンをウエハ上に投影する投影光学系（投影レンズ）の波面収差を高精度に測定することができ、高集積度のデバイスを容易に製造することができる投影露光装置及びそれを用いたデバイスの製造方法の提供を目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】

請求項 1 の発明の投影露光装置は、

第 1 物体の転写用パターンを第 1 の照明条件で照明する第 1 の照明手段と、該第 1 の照明手段で照明した第 1 物体の転写用パターンを第 2 物体に投影する投影光学系と、該第 1 の照明条件と異なる第 2 の照明条件を有する第 2 の照明手段と、該第 2 の照明手段で照明した特定パターンを該投影光学系で結像させ、該特定パターンの像の光強度分布を検出する光強度検出手段と該光強度検出手段からのデータに基づいて該投影光学系の波面収差を測定する波面収差測定手段と、を有していることを特徴としている。

【 0 0 1 2 】

請求項 2 の発明は請求項 1 の発明において、

前記波面収差測定手段は前記特定パターンの像の光強度分布を前記投影光学系の光軸方向の複数の位置で求め、該特定パターンの像の光強度分布から該像の位相分布を求めて、該像の位置分布より該投影光学系の波面収差を測定していることを特徴としている。

【 0 0 1 3 】

請求項 3 の発明の投影露光装置は、

第 1 物体上の転写用パターンを第 1 の照明条件で照明する第 1 の照明手段と、該転写用パターンを感光性の基板上の露光領域に投影、露光する投影光学系とを有する投影露光装置において、該第 1 物体又は他の物体上の特定パターンを第 1 の照明条件とは異なる第 2 の照明条件で照明する第 2 の照明手段と、該投影光学系を介して形成される該特定パターン像の結像位置での光強度分布と 1 つ以上のデフォーカス位置での像の光強度分布、又は複数のデフォーカス位置での光強度分布を検出する光強度検出手段と、該光強度検出手段からのデータに基づいて、該投影光学系の波面収差情報を得る波面収差測定手段とを有していることを特徴としている。

【 0 0 1 4 】

請求項 4 の発明は請求項 1, 2 又は 3 の発明において、

前記第 1 の照明条件と第 2 の照明条件とは、空間的コヒーレンシーが異なることを特徴としている。

【0015】

請求項5の発明は請求項1から4のいずれか1項の発明において、

前記第1の照明条件が空間的に部分的コヒーレントあるいはインコヒーレント ($0.2 < \sigma \leq 1.0$ 、 σ = 第1の照明手段の開口数 / 投影光学系の開口数) であり、前記第2の照明条件が空間的にコヒーレントあるいは略コヒーレント ($\sigma \leq 0.2$ 、 σ = 第2の照明手段の開口数 / 投影光学系の開口数) であることを特徴としている。

【0016】

請求項6の発明の投影露光装置は、

第1物体上の転写用パターンを照明光学系を介して第1の照明条件で照明し、該転写用パターンを投影光学系を介して、感光性の基板上の露光領域に投影、露光する投影露光装置において、該照明光学系は、第1の照明条件と異なる第2の照明条件で該第1物体又は他の物体上の特定パターンを照明しており、該投影光学系を介して形成される該特定パターン像の結像位置での光強度分布と、1つ以上のデフォーカス位置での光強度分布、又は複数のデフォーカス位置での光強度分布を検出する光強度検出手段と該光強度検出手段からのデータに基づいて、該投影光学系の波面収差情報を得る波面収差測定手段を有していることを特徴としている。

【0017】

請求項7の発明は請求項6の発明において、

前記第1の照明条件が空間的に部分的コヒーレントあるいはインコヒーレント ($0.2 < \sigma \leq 1.0$ 、 σ = 照明光学系の開口数 / 投影光学系の開口数) であり、第2の照明条件が空間的にコヒーレントあるいは略コヒーレント ($\sigma \leq 0.2$ 、 σ = 照明光学系の開口数 / 投影光学系の開口数) であることを特徴としている。

【0018】

請求項8の発明は請求項6又は7の発明において、

前記照明光学系は前記第1の照明条件から第2の照明条件への変更に際し、該照明光学系の一部を取り外すことを特徴としている。

【 0 0 1 9 】

請求項 9 の発明は請求項 6 又は 7 の発明において、

前記照明光学系は前記第 1 の照明条件から第 2 の照明条件への変更に際し、該照明光学系の一部に別の光学系を付け加えることを特徴としている。

【 0 0 2 0 】

請求項 1 0 の発明は請求項 1 から 9 のいずれか 1 項の発明において、

前記第 1 の照明条件から第 2 の照明条件への変更に際し、光源を変えることを特徴としている。

【 0 0 2 1 】

請求項 1 1 の発明は請求項 6 又は 7 の発明において、

前記第 1 の照明条件から第 2 の照明条件への変更に際し、照明光学系の一部を取り外すこと、又は該照明光学系の一部に他の光学系を付加すること、又は光源を変えることのうち、少なくとも 1 つの変更を行っていることを特徴としている。

【 0 0 2 2 】

請求項 1 2 の発明の投影露光装置は、

第 1 物体上の転写用パターンを照明光学系を介して第 1 の照明条件で照明し、該転写用パターンを投影光学系を介して、感光性の基板上の露光領域に投影、露光する投影露光装置において、該第 1 物体又は他の物体上の特定パターンを該照明光学系の一部を介して前記第 1 の照明条件とは異なる第 2 の照明条件で照明し、該投影光学系により形成される結像位置での該特定パターンの像の光強度分布と 1 つ以上のデフォーカス位置での光強度分布、あるいは複数のデフォーカス位置での光強度分布を検出する光強度検出手段と、該光強度検出手段からのデータに基づいて位相回復法により、前記投影光学系の波面収差情報を得る波面収差測定手段を有していることを特徴としている。

【 0 0 2 3 】

請求項 1 3 の発明は請求項 1 2 の発明において、

前記第 1 の照明条件が、空間的に部分的コヒーレントあるいはインコヒーレント ($0.2 < \sigma \leq 1.0$ 、 $\sigma = \text{照明光学系の開口数} / \text{投影光学系の開口数}$) であ

り、前記第 2 の照明条件が空間的にコヒーレントあるいは略コヒーレント ($\sigma \leq 0.2$ 、 $\sigma = \text{照明光学系の開口数} / \text{投影光学系の開口数}$) であることを特徴としている。

【 0 0 2 4 】

請求項 1 4 の発明の投影露光装置は、

前記第 1 物体上の転写用パターンを照明光学系を介して第 1 の照明条件で照明し、該転写用パターンを投影光学系を介して、感光性の基板上の露光領域に投影、露光する投影露光装置において、該第 1 物体又は他の物体上の特定パターンを該照明光学系の全てあるいはその一部に別の光学系を加えて前記第 1 の照明条件とは異なる第 2 照明条件で照明し、該投影光学系により形成される結像位置での該特定パターン像の光強度分布と 1 つ以上のデフォーカス位置での光強度分布、あるいは複数のデフォーカス位置での光強度分布を検出する光強度検出手段と、該光強度検出手段からのデータに基づいて、該投影光学系の波面収差情報を得る波面収差測定手段を有していることを特徴としている。

【 0 0 2 5 】

請求項 1 5 の発明は請求項 1 4 の発明において、

前記第 1 の照明条件が空間的に部分的コヒーレントあるいはインコヒーレント ($0.2 < \sigma \leq 1.0$ 、 $\sigma = \text{照明光学系の開口数} / \text{投影光学系の開口数}$) であり、前記第 2 の照明条件が空間的にコヒーレントあるいは略コヒーレント ($\sigma \leq 0.2$ 、 $\sigma = \text{照明光学系の開口数} / \text{投影光学系の開口数}$) であることを特徴としている。

【 0 0 2 6 】

請求項 1 6 の発明は請求項 1 2 から 1 5 のいずれか 1 項の発明において、

前記第 1 の照明条件から前記第 2 の照明条件への変更に際し、光源を変えることを特徴としている。

【 0 0 2 7 】

請求項 1 7 の発明の投影露光装置は、

第 1 物体上の転写用パターンを第 1 の光学系を介して照明し、該転写用パターンを投影光学系を介して、感光性の基板上の露光領域に投影、露光する投影露光

装置において、該第 1 物体又は他の物体上の特定パターンを第 2 の光学系を介して照明し、該投影光学系を介して形成される結像位置での該特定パターンの像の光強度分布と 1 つ以上のデフォーカス位置での光強度分布、あるいは複数のデフォーカス位置での光強度分布を検出する光強度検出手段と、該光強度検出手段からのデータに基づいて、該投影光学系の波面収差情報を得る波面収差測定手段を有していることを特徴としている。

【 0 0 2 8 】

請求項 1 8 の発明は請求項 1 7 の発明において、

前記第 2 の光学系の前記第 1 物体又は他の物体への照明条件が、コヒーレント照明 ($\sigma = 0$ 、 $\sigma =$ 第 2 の光学系の開口数 / 投影光学系の開口数)、又は、略コヒーレント照明 ($\sigma \leq 0.2$) であることを特徴としている。

【 0 0 2 9 】

請求項 1 9 の発明は請求項 1 7 の発明において、

前記第 2 の光学系が、前記投影光学系の波面収差情報を得るため以外の用途にも用いられる光学系であることを特徴としている。

【 0 0 3 0 】

請求項 2 0 の発明は請求項 1 9 の発明において、

前記第 2 の光学系を、前記投影光学系の波面収差情報を得るために用いる場合と、それ以外の用途に用いる場合とで、該第 2 の光学系による前記第 1 物体又は他の物体上のパターンへの照明条件を変えることを特徴としている。

【 0 0 3 1 】

請求項 2 1 の発明は請求項 1 9 又は 2 0 の発明において、

前記投影光学系の波面収差情報を得る場合には、前記第 2 の光学系による前記第 1 物体又は他の物体への照明条件をコヒーレント照明 ($\sigma = 0$ 、 $\sigma =$ 第 2 の光学系の開口数 / 投影光学系の開口数)、又は、略コヒーレント照明 ($\sigma \leq 0.2$) であることを特徴としている。

【 0 0 3 2 】

請求項 2 2 の発明は請求項 1 7 から 1 9 のいずれか 1 項の発明において、

前記第 1 の光学系が有する光源と前記第 2 の光学系が有する光源とが異なるこ

とを特徴としている。

【 0 0 3 3 】

請求項 2 3 の発明は請求項 1 から 2 2 のいずれか 1 項の発明において、

前記投影光学系の波面収差情報を得る場合に必要とする前記特定パターンの像の結像位置での光強度分布と 1 つ以上のデフォーカス位置での光強度分布、あるいは複数のデフォーカス位置での光強度分布を検出する光強度検出手段はナイフエッジ法を用いて計測していることを特徴としている。

【 0 0 3 4 】

請求項 2 4 の発明は請求項 1 から 2 2 のいずれか 1 項の発明において、

前記投影光学系の波面収差情報を得る場合に必要とする、前記特定パターンの像の結像位置での光強度分布と 1 つ以上のデフォーカス位置での光強度分布、あるいは複数のデフォーカス位置での光強度分布を検出する光強度検出手段は拡大光学系によって拡大した後、光センサーに入射させ、計測することを特徴としている。

【 0 0 3 5 】

請求項 2 5 の発明は請求項 1 から 2 4 のいずれか 1 項の発明において、

前記算出された波面収差に基づいて、前記投影光学系の収差を調整する調整機構を有することを特徴としている。

【 0 0 3 6 】

請求項 2 6 の発明は請求項 1 から 2 5 のいずれか 1 項の発明において、

前記算出された球面収差と投影する転写用パターンに基づいて、前記投影光学系の収差を露光前に調整することを特徴としている。

【 0 0 3 7 】

請求項 2 7 のデバイスの製造方法は、

請求項 1 から 2 6 のいずれか 1 項の投影露光装置を用いてレチクルとウエハとの位置合わせを行った後に、レチクル面上のパターンをウエハ面上に投影露光し、その後、該ウエハを現像処理工程を介してデバイスを製造していることを特徴としている。

【 0 0 3 8 】

【発明の実施の形態】

図 1 は本発明の実施形態 1 の要部概略図である。同図は第 1 物体としてのレチクル 2 面上のパターン（転写用パターン）を投影レンズ 1 で第 2 物体としてのウエハ 3 面上に投影露光する露光装置を示している。本実施形態は従来の位相回復法による波面算出機構を有する露光装置に比べて、光路中から挿脱可能なコヒーレント化光学系 1 6 を露光用照明系 1 3 に追加したことが大きく異なっている。

【0039】

本実施形態において投影レンズ 1 の波面収差を求める位相回復法では、まず露光用照明系（照明光学系）1 3 からの露光波長の照明光束 I L でコヒーレント化光学系 1 6 を介してレチクル 2 または他の物体上のパターン（特定パターン）を照明している。そして、特定パターンの像を投影レンズ 1 でウエハステージ 4 に載置した光強度検出手段 8 上に結像させ、該光強度検出手段 8 で特定パターン像の強度分布を計測する。次にウエハステージ 4 をステージ駆動装置 5 により光軸 A X 方向に駆動し、光強度検出手段 8 上で、特定パターン像がデフォーカスした状態にし、この時の特定パターン像の強度分布を計測する。これらの 2 つのパターン像の強度分布の結果を用いて、情報処理装置（波面収差測定手段）1 1 によりフーリエ変換、逆変換等の演算処理を繰り返し行うことにより、投影レンズ 1 の波面収差を算出している。尚、図 1 では投影光学系 1 の光軸上の波面収差を測定する場合を示している。

【0040】

図 2 は図 1 の露光用照明系 1 3 の詳細を説明するための概略図である。図 2 において超高圧水銀ランプ、エキシマレーザー等の光源 1 7 から出た光束をビームエキスパンダやシリンドリカルレンズ等からなる光束整形部 1 8 により照明光束を所望の形状に整形し、インコヒーレント化部 1 9 に入射させている。

【0041】

次にインコヒーレント化部 1 9 からのインコヒーレントな光束をズームレンズからなる照明状態調整部 2 0 により照明 σ 値を調節した後、複数のレンズを 2 次元的に配列したレンズアレイ（ハエの目光学系）2 1 を通り、射出側の絞り 2 2 により有効光源を決定し、レンズ系 2 3 に導光している。そしてレンズ系 2 3 か

らの光束で、コヒーレント化光学系 16 を介して所望の σ 値でレチクル面 2 を照明している。

【0042】

本実施形態では光源 17 として、エキシマレーザーを用いている為に、光束整形部 18 と照明状態調整部 20 との間にオプティカルパイプ等からなるインコヒーレント化部 19 を設けているが、光源としてインコヒーレント光を放射する水銀ランプ等を用いたときにはインコヒーレント化部 19 は不要である。

【0043】

位相回復法を用いて投影レンズ 1 の波面収差を算出するためには、理想的にはコヒーレント照明 ($\sigma = 0$) でレチクル 2 上のパターンを照明する必要がある、 $0 < \sigma$ となると算出誤差が発生し、 σ が大きくなるほど誤差も大きくなる。

【0044】

一方、半導体デバイス製造用の露光装置の投影レンズ 1 の波面収差は、通常 0.1λ (λ = 波長) 以下であり、この波面収差を評価するためには、少なくとも 0.01λ 以下で波面収差を算出する必要がある。位相回復法を用いて 0.01λ 以下の精度で波面収差を算出するためには、 $\sigma \leq 0.1$ の光でレチクル上のパターンを照明することが必要である。また、露光を行うことによる環境変化による波面収差の相対的な変化などを定性的に評価する場合でも、 0.03λ 程度の精度は必要であり、この場合でも、 $\sigma \leq 0.2$ の光でレチクル上のパターンを照明する必要がある。

【0045】

露光用照明系 (第 1 の光学系) 13 は、通常、実際の回路パターンをウエハ 3 に露光する際には部分的コヒーレントまたはインコヒーレントな状態でレチクル 2 を照明 (第 1 の照明条件) しており、露光用照明系 13 のみを用いて、位相回復法を実施した場合、コヒーレント照明とすることができず、露光用照明系 13 の σ が最も小さくなるようにして計測を行っていた。ところが、通常の半導体デバイス製造用の露光装置に実装されている σ は、最も小さいものでも、 0.3 程度である。この為、位相回復法を用いて十分な精度で波面収差を算出することができなかった。

【 0 0 4 6 】

そこで本実施形態では、波面収差の測定時には、図 1 に示したようにコヒーレント化光学系 1 6 をレチクル 2 と露光照明系 1 3 との間に設置し、収束球面波であった照明光束を平行な波面の光束に変換することにより、レチクル 2 上のパターンをコヒーレント照明または略コヒーレント照明（第 2 の照明条件）している。これによって、位相回復法による波面収差の算出を高い精度で行うことを可能としている。

【 0 0 4 7 】

なお、本実施形態では、コヒーレント化光学系 1 6 を照明光学系 1 3 につけ加えたが、照明光学系中 1 3 に構成されているレンズ等を取り除いたり、また取り除いた後で別の光学系をつけ加えて、コヒーレント化を実施するようにしても良い。

【 0 0 4 8 】

以上のように本実施形態ではレチクル 2 のパターンをウエハ 3 に露光による焼き付ける露光時と位相回復法による投影レンズ 1 の波面収差算出時とでレチクル 2 の照明条件を変えている。特に露光時には、部分的コヒーレント光あるいはインコヒーレント光でレチクル 2 を照明し（第 1 の照明条件）、位相回復法による波面収差算出時には、レチクル上のパターンをコヒーレント光あるいは略コヒーレント光（ $\sigma \leq 0.2$ 、望ましくは $\sigma \leq 0.1$ ）で照明し（第 2 の照明条件）、像面、デフォーカス面での光強度分布を計測して、投影レンズ 1 の波面収差を求めている。

【 0 0 4 9 】

また、露光時にはコヒーレント化光学系 1 6 を光路中から取り除き、露光照明系 1 3 をそのまま用いて第 1 の照明条件であるところの部分的コヒーレントな状態でレチクルを照明している。そして、位相回復法を利用した波面収差の測定実施時には、第 2 の照明条件であるコヒーレント照明あるいは略コヒーレント照明でレチクルを照明するように、露光用照明系から一部の光学系を取り外したり、逆にコヒーレント化光学系 1 6 を追加したり、その両者を行ったりすることにより、精度よく投影光学系の波面収差を算出している。また、空間的コヒーレンシ

一や光量を露光時と位相回復法実施時とで最適な状態となるように光源を変えることにより、精度よく投影光学系の波面収差を算出している。さらに、露光時と位相回復法実施時とで、別々の照明光学系（第1の光学系と第2の光学系）を使用し、露光時には部分的コヒーレントな状態でレチクルを照明し、位相回復法を利用した投影レンズの波面収差の測定実施時には、コヒーレントあるいは略コヒーレントな状態でレチクルを照明することにより、精度よく投影光学系の波面収差を算出している。

【0050】

また、第2の光学系として、露光波長の光を用いたレチクルやウエハの位置合わせ用のアライメント光学系またはその一部を用い、その照明条件を（ $0 \leq \sigma \leq 0.2$ ）とすることにより、露光装置内に新たな光学系を設置せずに、あるいは最小限の光学系の追加で、位相回復法による波面収差を精度よく算出している。また、アライメント光学系の照明条件を、アライメント計測時と位相回復法による波面収差計測時とで変えることで、両者にとって最適な状態で計測している。

【0051】

図3、図4は各々本実施形態において用いている投影レンズの波面収差を計測する位相回復法のアルゴリズムを示す説明図である。

【0052】

位相回復法は、主に電子顕微鏡や大きな収差が存在する天体望遠鏡等における解像度向上に用いられてきた方法である。その特徴は、複数位置、例えば像面、瞳面、デフォーカス位置等における像の強度分布から像の位相分布を求め、その位相分布から光学系（投影レンズ）の波面収差を算出している。

【0053】

まず、図3の位相回復法のアルゴリズムを用いて説明する。まず、計測した像面での像の強度分布を用い、像に任意の位相を与えた後、フーリエ変換し、瞳面での複素振幅分布を求める。次に、得られた複素振幅分布のうち、位相部はそのままとし、強度部にあたる絶対値のみを実際の測定値に応じた値（瞳面での強度の平方根）に置き換え、これを新たな複素振幅分布とする。この新たな複素振幅分布を逆フーリエ変換し、像面上での複素振幅分布を求め、再び、位相部のみを

そのままとし、強度を実測値に置き換える。以上のような計算を繰り返し行うことで、像面及び瞳面での像の複素振幅分布を算出し、瞳面での複素振幅分布の位相分布から、レンズの波面収差を算出している。

【 0 0 5 4 】

図 4 はフォトリソグラフィのように瞳面での強度分布測定が難しい場合の位相回復法のアルゴリズムを示している。図 4 のアルゴリズムでは瞳面を介して、像面とデフォーカス面との間で、変換－逆変換を繰り返すことで、像面での複素振幅分布とデフォーカスした面での複素振幅分布を算出し、その結果から瞳の位相分布、すなわち投影レンズの波面収差を求めている。

【 0 0 5 5 】

図 5 は本発明の実施形態 2 の要部概略図である。図 5 において図 2 で示した要素と同一要素には同符号を付している。

【 0 0 5 6 】

本実施形態では、図 2 に示した露光用照明系 1 3 内の照明状態調整部 2 0 及び絞り 2 2 を露光時と位相回復法の実施時とで照明状態調整部 2 4 と絞り 2 5 に変更することを特徴としている。図 2 に示したように、露光時の照明条件を決定しているのは、露光用照明系 1 3 内の照明状態調整部 2 0 と絞り 2 2 である。照明状態調整部 2 0 は主としてズーム光学系からなり、露光時の照明条件にあわせて、有効光源の大きさを変えている。

【 0 0 5 7 】

一般的に、実際にパターンをウエハに露光する際の照明条件は、 $\sigma 0.3 \sim 0.8$ 程度であるので、この範囲をカバーできるようなズーム光学系である。一方、位相回復法では、 $\sigma 0.2$ 以下、望ましくは 0.1 以下の略コヒーレントな状態でレチクルを照明する必要がある。最も簡便に $\sigma 0.2$ 以下で照明するためには、図 2 に示した絞り 2 2 を絞ることで $\sigma \leq 0.2$ とすることができる。この場合、照明状態調整部 2 0 は $\sigma 0.3$ 程度までの光束の広がりがあるため、絞り 2 2 の部分でケラレが発生し、この結果光量が少なくなる場合がある。特に $\sigma 0.1$ 以下とすると光量低下が生じ、強度分布を計測する位相回復法では、波面収差の算出精度に影響を及ぼすことがある。また、照明状態調整部 2 0 として $\sigma 0.$

1～0.2程度までカバーするようなズーム光学系を用いることも考えられるが、ズーム比を大きくすると照明状態調整部20が大きく重くなる。また、全てのズームレンズで照度ムラを抑えることが難しくなってくる。

【0058】

そこで、本実施形態では、図5に示したように位相回復法による投影レンズの波面収差測定実施時には、照明光学系13内の照明状態調整部を位相回復法用の照明状態調整部24へ変更し、かつ σ 0.2以下の絞り25へ変更している。すなわち、露光時には、 σ 0.3程度から σ 0.8程度まで変化するようなズーム光学系を照明状態調整部20に用い、位相回復法実施時には、 σ 0.2以下となるような位相回復法用の照明状態調整部24を用いることにより、露光及び位相回復のそれぞれにとって最良の状態でレチクルを照明している。これによって、投影レンズ1の波面収差を精度よく算出している。

【0059】

図6は本発明の実施形態3の要部概略図である。図6において図2で示した要素と同一要素には同符号を付している。

【0060】

本実施形態では、図6に示したように位相回復法による波面収差測定実施時に、光路中より挿脱可能なミラー27を絞り22とレンズ23との間に挿入し、第2の光源26から露光波長と同一の波長の光束を出射させ、ミラー27、レンズ部23を介して、レチクル2上のパターンをコヒーレントあるいは略コヒーレントな状態で照明している点が図2の実施形態1と異なっている。

【0061】

露光用の光源17とは別に位相回復法用の光源26を設けることで、位相回復法にとって最適な光量でレチクル2を照明することが可能であり、精度よく波面収差を算出することができる。また、図6に示してはいないが、第2の光源26とミラー27との間やミラー27とレンズ部23との間にレンズ等を配置して、コヒーレント照明でレチクルを照明するようにしてもよい。

【0062】

図7は本発明の実施形態4の要部概略図である。図7において図1で示した要

素と同一要素には同符合を付している。図 7 では投影光学系 1 の軸外の波面収差を求める場合を示している。

【 0 0 6 3 】

本実施形態では図 7 に示したように、露光用照明系 1 3 以外に第 2 の光学系 1 4 を設けている。そして、位相回復法を用いて投影レンズ 1 の波面収差を検出する場合には、第 2 の光学系 1 4 でレチクル 2 上のパターンを照明するようにしている。また、実露光時には、第 2 の光学系 1 4 及びミラー 1 5 が、露光光束をけらないように図 7 の矢印方向に移動し光路中より挿脱可能となっている。さらに第 2 の照明光学系 1 4 の照明条件をコヒーレント照明 ($\sigma = 0$) あるいは略コヒーレント照明 ($\sigma \leq 0.2$) とすることにより、位相回復法にとって理想的な状態で投影レンズ 1 の波面収差を算出することを可能としている。

【 0 0 6 4 】

本実施形態では、露光用照明系 1 3 には、なんら改造、変更を加える必要がなく、非常に簡便な方法で位相回復法にとって最適な照明状態とすることを可能としている。また、第 2 の照明光学系 1 4 の光源としては、露光用の光源と同一のものをを用いてもよいし、露光用光源と同一の波長の別の光源を用いてもよい。

【 0 0 6 5 】

図 8 は本発明の実施形態 5 の要部概略図である。図 8 において図 1 で示した要素と同一要素には同符合を付している。

【 0 0 6 6 】

本実施形態ではレチクル 2 とウエハ 3 との位置合わせ（アライメント）を行うアライメント用光学系を利用して、位相回復法による投影レンズ 1 の波面収差を算出可能としている。図 8 において、アライメント光学系は、対物レンズ 2 8、ビームスプリッタ 2 9、リレー光学系 3 1、照明系リレー光学系 3 3、光源 3 4、センサー 3 0 等とからなる。露光光と同一の波長の光が光源 3 4 より射出され、照明系リレー光学系 3 3、対物レンズ 2 8 を介してレチクル 2 上のアライメントマークを照明し、アライメントマークの像を対物レンズ 2 8、リレー光学系 3 1 を介してセンサー 3 0 に結像させている。また、照明系リレー光学系 3 3、対物レンズ 2 8、投影レンズ 1 を介して、ウエハ 3 上のアライメントマークを照明

し、投影レンズ 1、対物レンズ 28、リレー光学系 31 を介してセンサー 30 上に結像させ、ウエハ上のアライメントマークを観察することもできる。また、リレー光学系 31 とセンサー 30 との間等にさらに光学系を配置する場合もある。

【0067】

次に、上記アライメント光学系を用いた位相回復法に関して以下に説明する。アライメント計測時には、通常 $0.2 \leq \sigma \leq 1.0$ でアライメントマークを照明する。そこで、図 8 に示したアライメント光学系に、切替式の絞り 32 を照明系リレー光学系 33 とビームスプリッタ 29 との間に設置し、アライメント時と位相回復法による波面収差測定実施時とで、 σ 値を切り換え可能とし、位相回復法による波面収差測定実施時には、 $\sigma \leq 0.2$ とするような絞りに切り換えて、レチクル 2 上のパターンを照明し、その像の強度分布を光強度測定装置 8 で計測している。これにより、投影レンズ 1 の波面収差を算出している。すなわち、図 8 に示したようにアライメント光学系内に切替式の絞り 32 を設置し、アライメント計測時と位相回復法による波面収差測定実施時とで、お互いが最適な照明状態となるように絞りを切り換えることにより、なんら新規の光学系を用いなくとも、高精度で位相回復法を実施し、投影レンズ 1 の波面収差を算出することを可能としている。また、アライメント光学系の光源 34 は、図 8 では、別光源としたが、露光用光源と同一のものを用いてもよい。また、各実施形態で示した光強度検出装置 8 は、CCD のような光センサーをステージ 4 上に搭載してもよいし、不図示の拡大光学系を用いて、強度分布を拡大した後、光センサーで計測してもよい。

【0068】

次に本発明の実施形態 6 について説明する。構成は図 8 の実施形態 5 で示したのとほぼ同一である。

【0069】

本実施形態は実施形態 5 に比べて、ステージ 4 が、nm オーダーの高精度で 2 次元的に駆動できることを利用して、光強度検出装置 8 として、ナイフエッジ法を用いて像面及びその近傍の光強度分布を計測することが異なっている。ナイフエッジ法を用いることにより、ステージ 4 上に拡大光学系のような重量物を搭載

せずに、光センサーをステージ 4 上に直接搭載した場合と比較して、光強度分布を高精度で計測することができる。また、拡大光学系とナイフエッジ法とを併用して、光強度分布を高精度で計測するようにしてもよい。

【 0 0 7 0 】

図 9 は本発明の実施形態 7 の要部概略図である。図 9 において図 8 で示した要素と同一要素には同符合を付している。

【 0 0 7 1 】

本実施形態では、図 9 に示したようにウエハステージ 4 上に反射部（凹面ミラー） 9 を設け、レチクル 2 上のパターンを投影レンズ 1 を 2 回介して中間像面 3 6 上に結像させ、レチクル 2 側でパターンの像の強度分布を計測し、位相回復法で投影レンズ 1 の波面収差を計測している。以下にその計測方法を詳細に説明する。

【 0 0 7 2 】

第 2 の光源 3 4 から露光波長と同一の波長の光束を射出し、照明系リレー光学系 3 3 と切替絞り 3 2、ビームスプリッタ 2 9 a、対物レンズ 2 8 を介して、略コヒーレントな照明条件（ $\sigma 0.2$ 以下）でレチクル 2 上のパターンを照明する。レチクル 2 上のパターンは、投影レンズ 1 によりウエハ 3 と同じ高さに結像するが、ウエハステージ 4 上に構成されたミラー 9 により反射され、再び投影レンズ 1、ハーフミラー 7 を介して、中間像面 3 6 に結像する。ここで、ミラー 9 は球面ミラーであり、その曲率中心がウエハ 3 とほぼ同じ高さになるように構成されている。投影レンズ 1 を 2 回介して中間像面 3 6 に結像したレチクル 2 上のパターンは、拡大光学系 3 5、ミラー 1 5、ビームスプリッタ 2 9 b、リレー光学系 3 1 を介して、センサー 3 0 上に拡大されて結像する。また、拡大光学系 3 5 を図面矢印方向へ動かしたり、センサー 3 0 を動かすことにより、フォーカス状態、デフォーカス状態の強度分布を計測する。

【 0 0 7 3 】

以上のような構成をとることにより、投影レンズ 1 を 2 回介して強度分布を計測できるため、投影レンズを 1 回だけ介した方法と比較して、収差の感度を 2 倍にして計測することが可能である。また、拡大光学系 3 5 を使用して、強度分布

を拡大してセンサー 30 に結像させるため、精度よく強度分布を計測することができ、波面収差を高精度で算出することが可能である。さらに、ウエハステージ 4 上には、ミラーを構成するだけでよいから、強度分布を計測するためのセンサー等の重量物を搭載する必要がないという利点もある。さらに、本実施形態では、図 8 の実施形態 5 と同様に、アライメント光学系を利用して、位相回復法を行うように構成したため、センサー 30 やリレー光学系 31、光源 34、照明系リレー光学系 33、対物レンズ 28 等を共用しているため、必要最小限の光学系の追加で位相回復法を実施している。

【0074】

なお、本実施形態では、ミラー 9 として球面ミラーを用いたが、反射面がウエハ面とほぼ同じ高さになるような平面ミラーでもよく、この場合、波面収差の成分のうち、球面収差、非点収差などの対称成分のみ、感度が 2 倍になる。対称成分のみ 2 倍になる理由は、投影レンズの行き（レチクル側からウエハ側）と帰り（ウエハ側からレチクル側）とで投影レンズを通る光束が、主光線を軸に回転対称になるため、非対称な成分はキャンセルされるためである。また、図 9 では凹面のミラーが図示されているが、曲率中心がウエハ面とほぼ同じ高さになるような凸面ミラーでもよい。

【0075】

図 10 は本発明の実施形態 8 の要部概略図である。図 10 において図 9 で示した要素と同一要素には同符合を付している。

【0076】

本実施形態では、位相回復法により算出された波面収差に基づき、露光装置上で、図 10 に示したように投影レンズ 1 内に設置した収差補正光学系 12 により収差補正を行ったり、投影レンズ 1 内の各レンズの空気間隔等を調整することを特徴とする。これにより、従来と比較して、収差を低減した状態で露光することを可能としている。また、収差補正光学系 12 としては、例えば、特開平 10 - 242048 号公報にあるような同一形状からなる 1 対の非球面光学素子を非球面が対向するように配置された光学素子などを用いることができる。なお、図 10 では、収差補正光学系 12 を投影レンズ 1 の瞳面近傍に設置したが、投影レン

ズ 1 とウエハ 3 間や、投影レンズ 1 とレチクル 2 間に設置してもよいし、複数の素子を設置してもよい。

【 0 0 7 7 】

なお、以上の実施形態では、フォーカス面（像面）と 1 つのデフォーカス面から、投影レンズ 1 の波面収差を算出したが、フォーカス面（像面）を用いずに 2 つの異なるデフォーカス面での像の強度分布から算出することも可能である。また、フォーカス面（像面）と複数のデフォーカス面、すなわち 3 つ以上の位置での像の強度分布を用いて、波面収差を算出することも可能である。また、収差補正光学系として一对の非球面光学素子の例を示したが、これに限るわけではない。例えば、投影レンズ内の複数のレンズを駆動して、収差補正を行ったり、投影レンズとウエハ間や投影レンズとレチクル間に 1 枚または、2 枚以上の平行平板を設置し、それらの平行平板の角度を変化させることなどでも収差を補正することが可能である。

【 0 0 7 8 】

本発明では以上の各実施形態に示す投影露光装置を用いて、マスクとウエハとの相対的な位置検出を行った後に、マスク面上のパターンをウエハ面に転写し、該ウエハを現像処理工程を介してデバイスを製造している。

【 0 0 7 9 】

本発明によれば、露光時と位相回復法実施時とで照明条件を変えることにより、露光装置本体上において位相回復法により高精度で投影レンズの波面収差を算出することが可能となる。特に位相回復法実施時には、略コヒーレントな状態でレチクルを照明できるように露光用照明系に光学系を追加したり、露光用照明系の一部のみ利用したり、一部を交換するなどの照明光学系の変更により、高精度で波面収差を算出することが可能となる。

【 0 0 8 0 】

また、位相回復法実施時には、露光用照明系とは異なる第 2 の光学系を用いて、略コヒーレントな状態でレチクルを照明することによっても、露光装置本体上において位相回復法により高精度で投影レンズの波面収差を算出することが可能となる。特に第 2 の光学系として、アライメント光学系を利用することにより、

新規に光学系を設置せずに、露光装置本体上において位相回復法により高精度で投影レンズの波面収差を算出することが可能となる。

【 0 0 8 1 】

さらに、算出された波面収差に基づき、投影レンズの内外に設置された収差補正光学系等を用いて、投影レンズの波面収差を調整することにより、波面収差の極めて少ない状態で露光することが可能となる。

【 0 0 8 2 】

以上の各実施形態は半導体素子製造用のステップアンドリピート方式の投影露光装置について述べてきたが、本発明はその他、スキャン露光装置や、液晶露光装置に適用可能である。

【 0 0 8 3 】

次に上記説明した投影露光装置を利用した半導体デバイスの製造方法を説明する。

【 0 0 8 4 】

図 1 0 は半導体デバイス（IC や L S I 等の半導体チップ、或は液晶パネルや CCD 等）の製造のフローチャートである。

【 0 0 8 5 】

本実施例においてステップ 1（回路設計）では半導体デバイスの回路設計を行う。ステップ 2（マスク製作）では設計した回路パターンを形成したマスクを製作する。

【 0 0 8 6 】

一方、ステップ 3（ウエハ製造）ではシリコン等の材料を用いてウエハを製造する。ステップ 4（ウエハプロセス）は前行程と呼ばれ、前記用意したマスクとウエハを用いてリソグラフィ技術によってウエハ上に実際の回路を形成する。

【 0 0 8 7 】

次のステップ 5（組立）は後行程と呼ばれ、ステップ 4 によって作製されたウエハを用いて半導体チップ化する工程であり、アッセンブリ工程（ダイシング、ボンディング）、パッケージング工程（チップ封入）等の工程を含む。

【 0 0 8 8 】

ステップ 6（検査）ではステップ 5 で作製された半導体デバイスの動作確認テスト、耐久性テスト等の検査を行なう。こうした工程を経て半導体デバイスが完成し、これが出荷（ステップ 7）される。

【 0 0 8 9 】

図 1 1 は上記ステップ 4 のウエハプロセスの詳細なフローチャートである。まず、ステップ 1 1（酸化）ではウエハの表面を酸化させる。ステップ 1 2（C V D）ではウエハ表面に絶縁膜を形成する。

【 0 0 9 0 】

ステップ 1 3（電極形成）ではウエハ上に電極を蒸着によって形成する。ステップ 1 4（イオン打込み）ではウエハにイオンを打ち込む。ステップ 1 5（レジスト処理）ではウエハに感光剤を塗布する。ステップ 1 6（露光）では前記説明した露光装置によってマスクの回路パターンをウエハに焼付露光する。

【 0 0 9 1 】

ステップ 1 7（現像）では露光したウエハを現像する。ステップ 1 8（エッチング）では現像したレジスト以外の部分を削り取る。ステップ 1 9（レジスト剥離）ではエッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。これらのステップを繰り返し行なうことによってウエハ上に多重に回路パターンが形成される。

【 0 0 9 2 】

尚、本実施例の製造方法を用いれば、高集積度の半導体デバイスを容易に製造することができる。

【 0 0 9 3 】

【発明の効果】

本発明によれば、以上のように各要素を特定することにより、マスクのパターンをウエハ上に投影する投影光学系（投影レンズ）の波面収差を高精度に測定することができ、高集積度のデバイスを容易に製造することができる投影露光装置及びそれを用いたデバイスの製造方法を達成することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の実施形態 1 の要部概略図

【図 2】 図 1 の露光用照明系を模式的に示した図

- 【図 3】 本発明に係る位相回復法のアルゴリズム 1
- 【図 4】 本発明に係る位相回復法のアルゴリズム 2
- 【図 5】 本発明の実施形態 2 の要部概略図
- 【図 6】 本発明の実施形態 3 の要部概略図
- 【図 7】 本発明の実施形態 4 の要部概略図
- 【図 8】 本発明の実施形態 5 または 6 の要部概略図
- 【図 9】 本発明の実施形態 7 の要部概略図
- 【図 1 0】 本発明の実施形態 8 の要部概略図
- 【図 1 1】 本発明のデバイスの製造方法のフローチャート
- 【図 1 2】 本発明のデバイスの製造方法のフローチャート

【符号の説明】

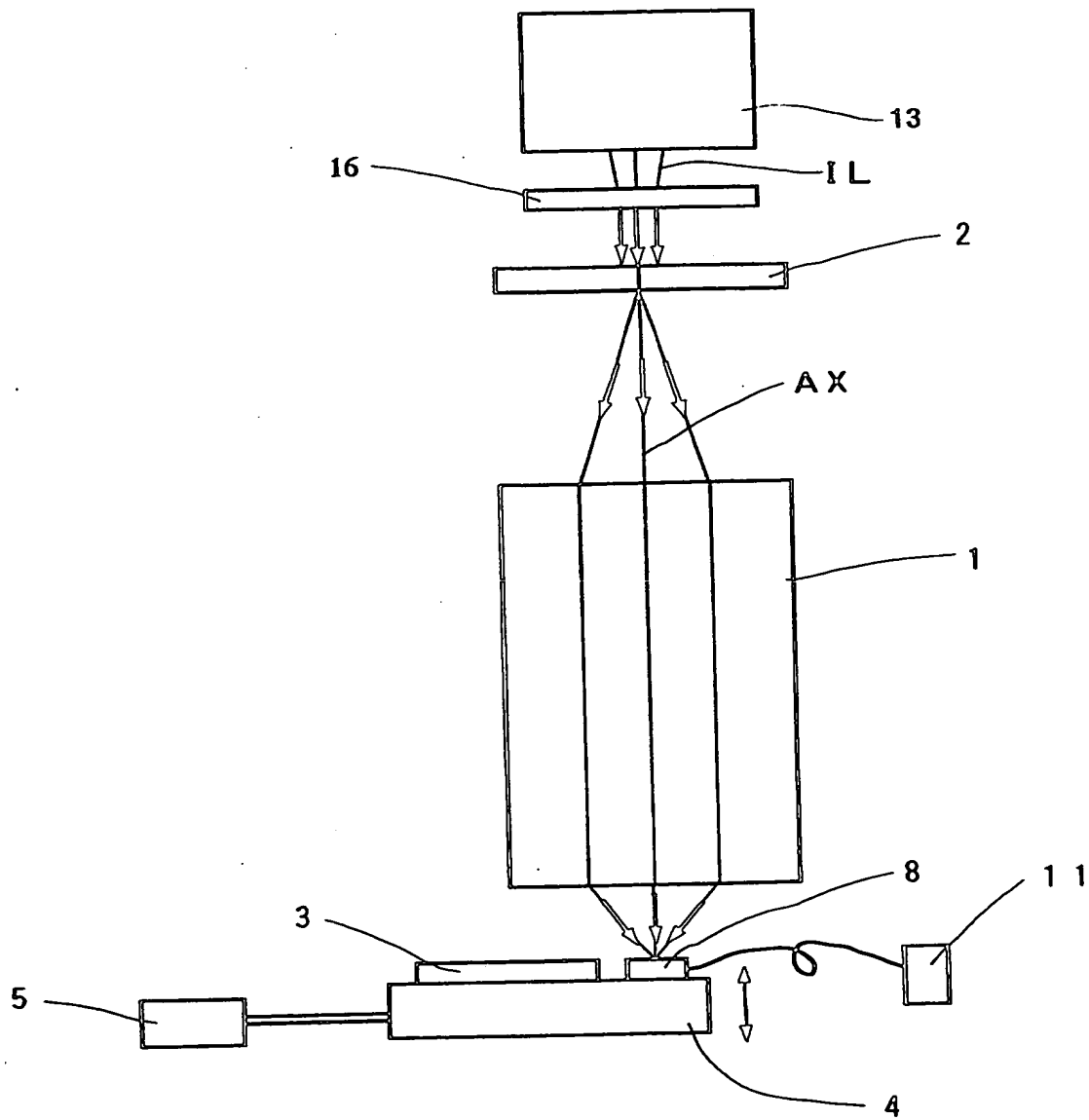
- 1 : 投影レンズ
- 2 : レチクル
- 3 : ウエハ
- 4 : ウエハステージ
- 5 : ステージ駆動装置
- 6 : 平面ミラー
- 7 : ハーフミラー
- 8 : 光強度測定装置
- 9 : 球面ミラー
- 1 0 : 拡大光学系
- 1 1 : 情報処理装置
- 1 2 : 収差補正光学系
- 1 3 : 露光用照明系 (第 1 の光学系)
- 1 4 : 第 2 の光学系
- 1 5 : ミラー
- 1 6 : コヒーレント化光学系
- 1 7 : (第 1 の) 光源
- 1 8 : 光束整形部

- 19 : インコヒーレント化部
- 20 : 照明状態調整部
- 21 : ハエの目光学系
- 22 : 絞り
- 23 : レンズ部
- 24 : (位相回復法用) 照明状態調整部
- 25 : 絞り
- 26 : (第2の) 光源
- 27 : ミラー
- 28 : 対物レンズ
- 29 : ビームスプリッタ
- 30 : センサー
- 31 : リレー光学系
- 32 : 切替絞り
- 33 : 照明系リレー光学系
- 34 : (第2の) 光源
- 35 : 拡大光学系
- 36 : 中間像面
- AX : 投影レンズの光軸
- IL : 照明光束

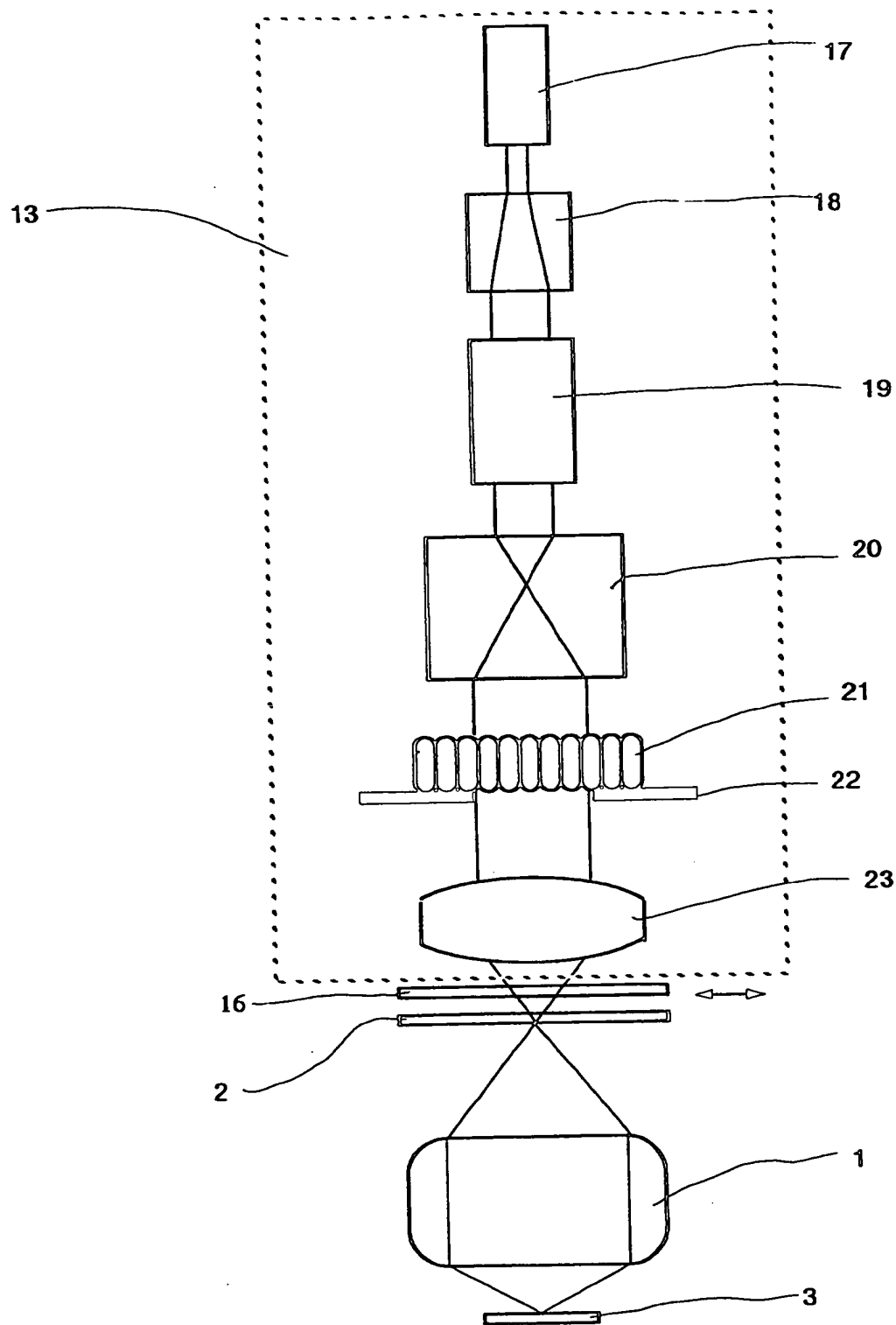
【書類名】

図面

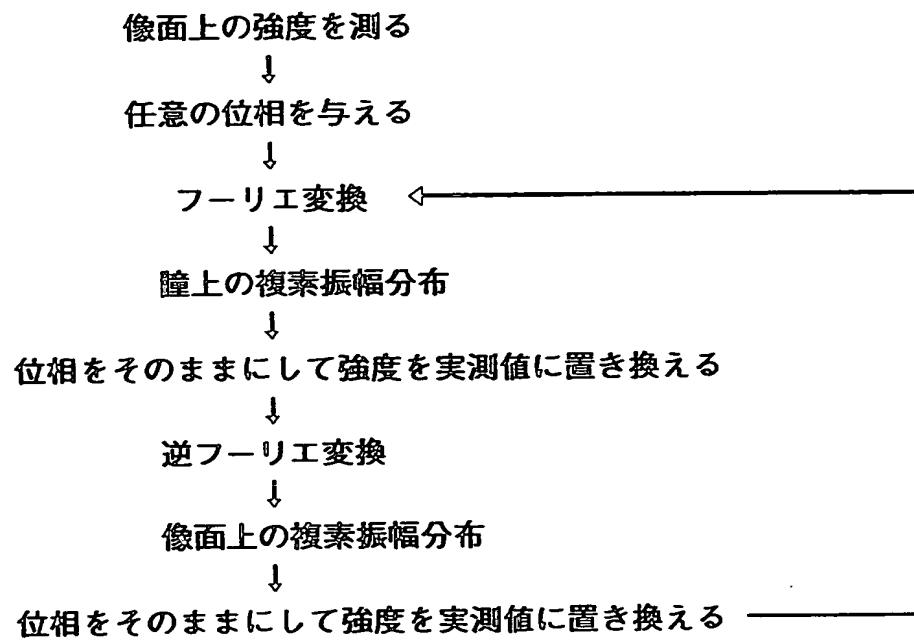
【図 1】



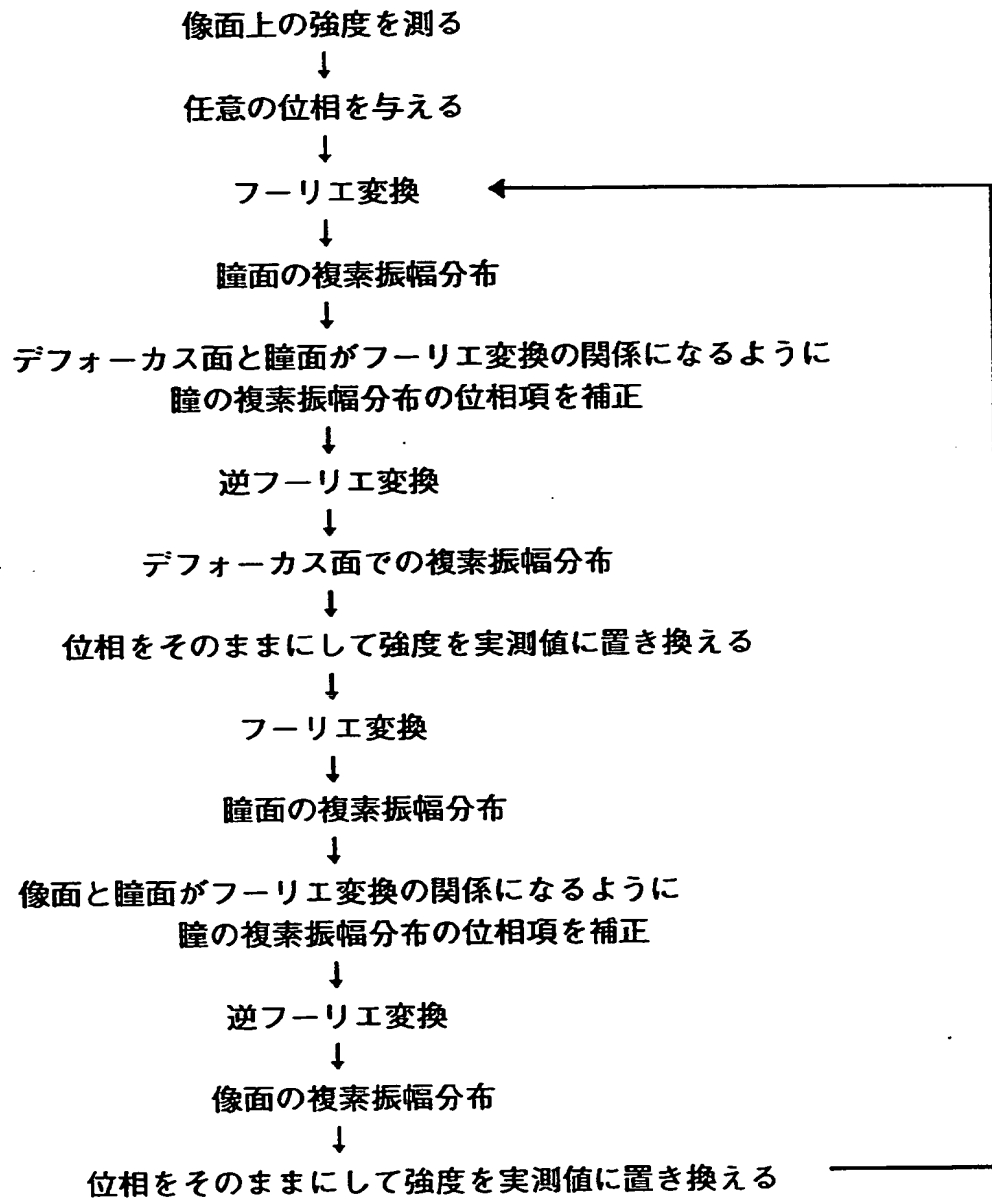
【図 2】



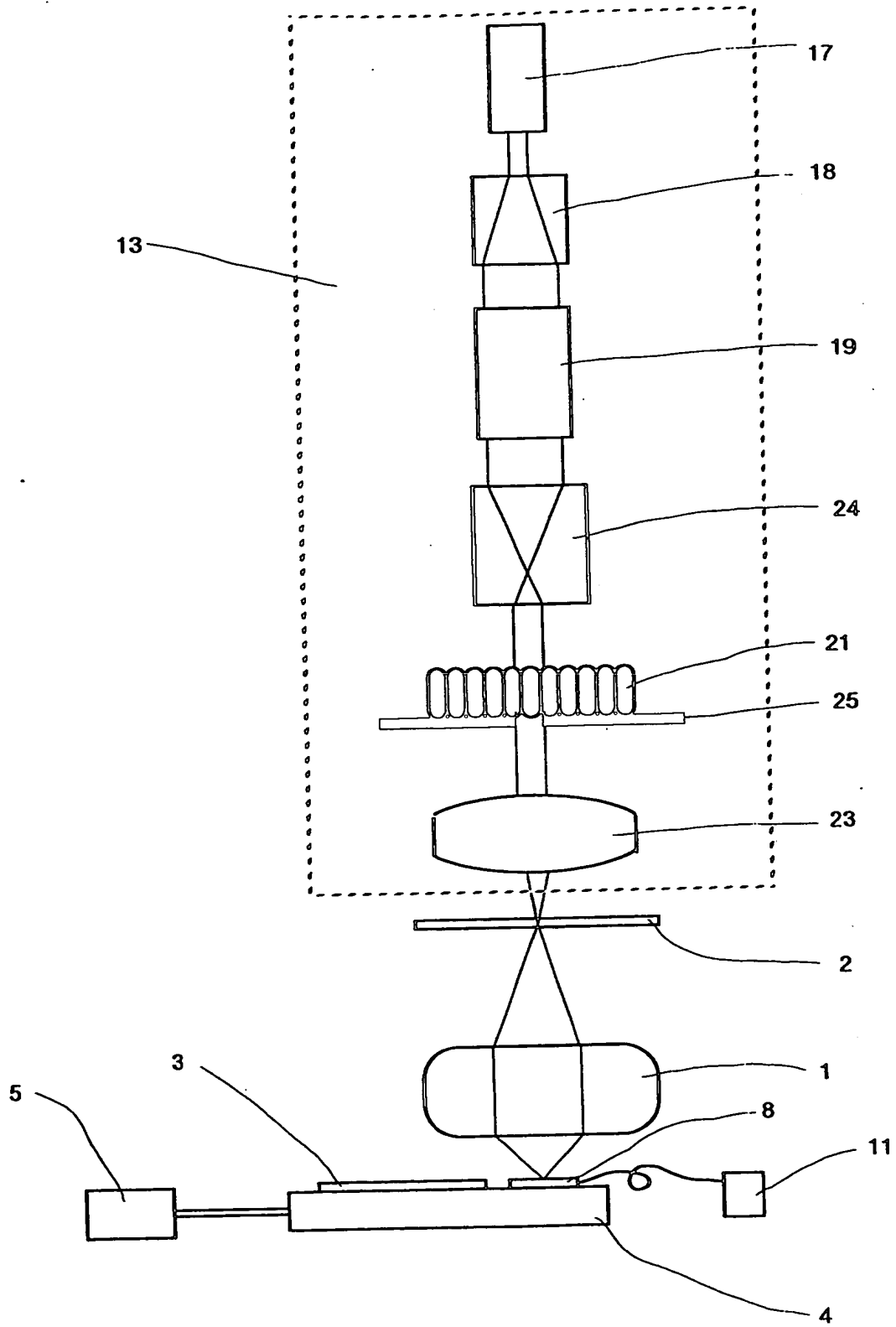
【図 3】



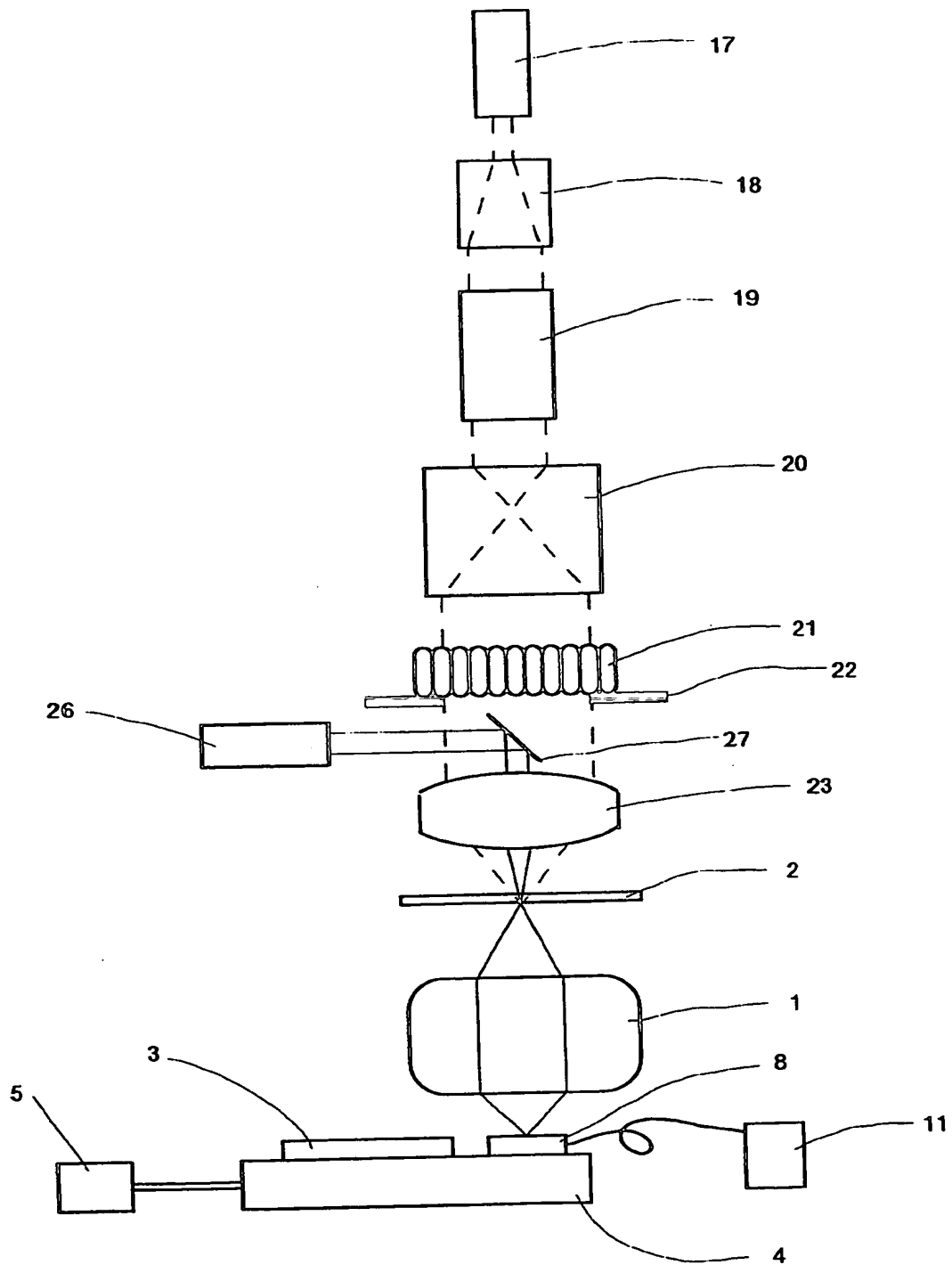
【図 4】



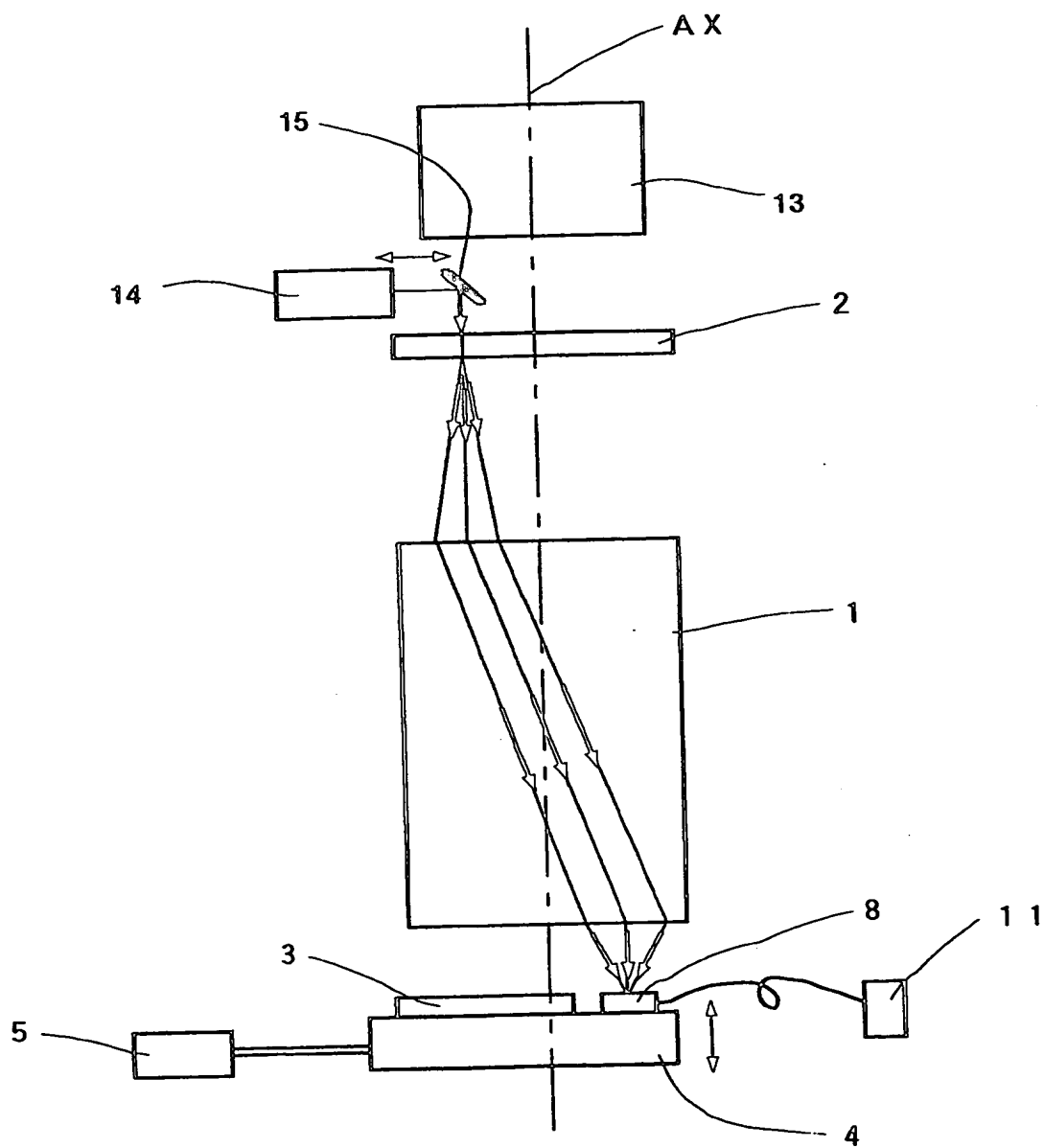
【図 5】



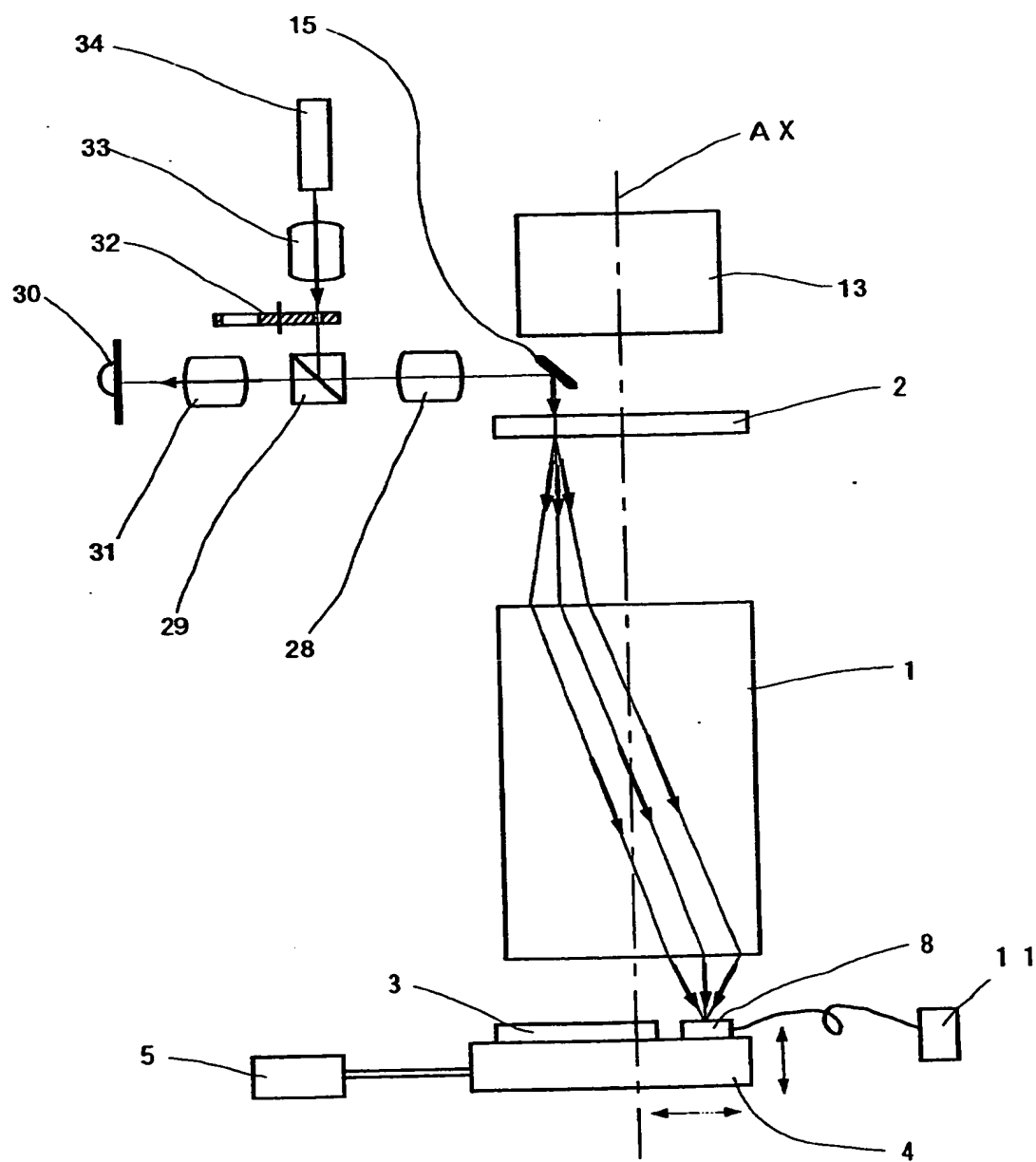
【図 6】



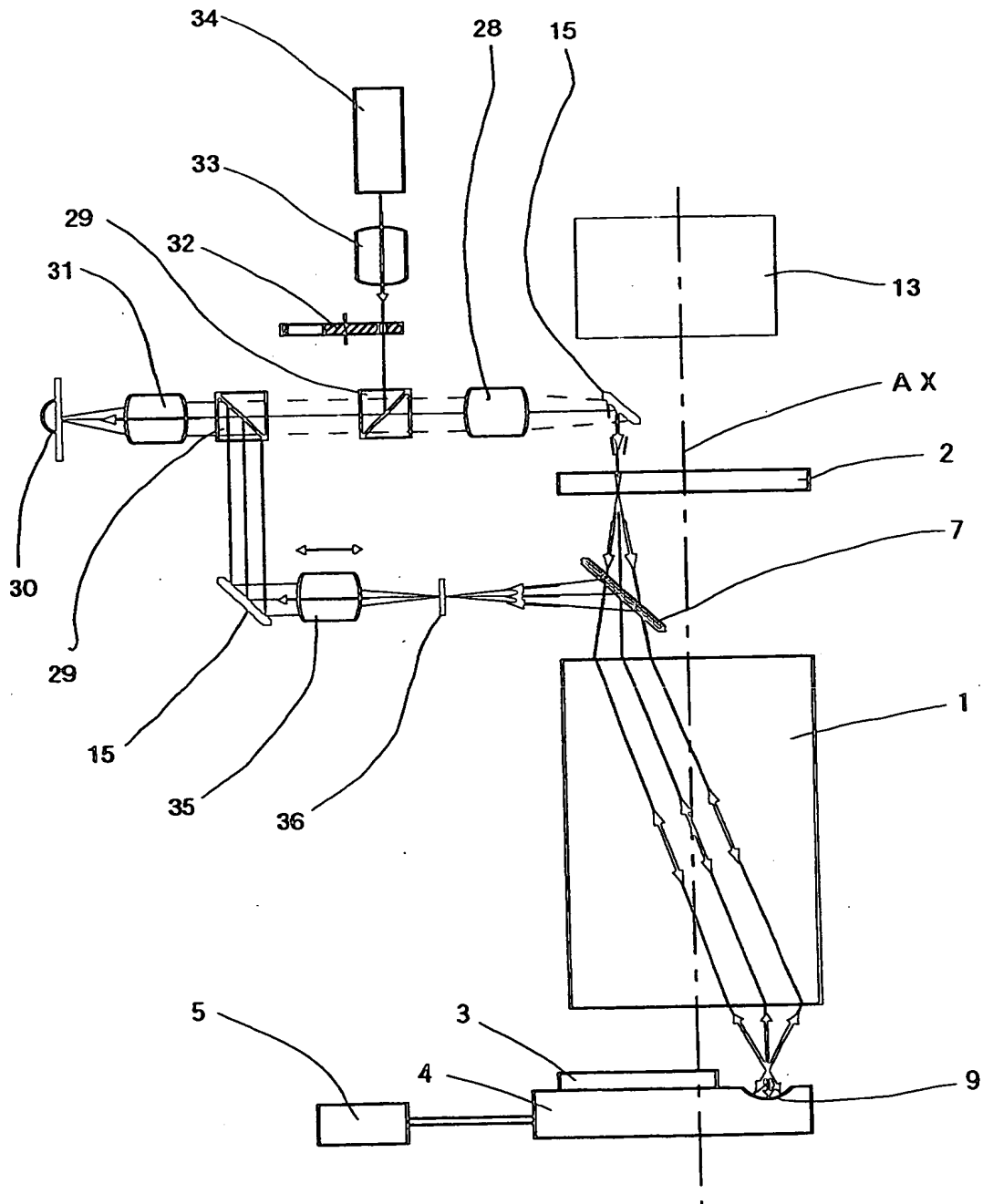
【図 7】



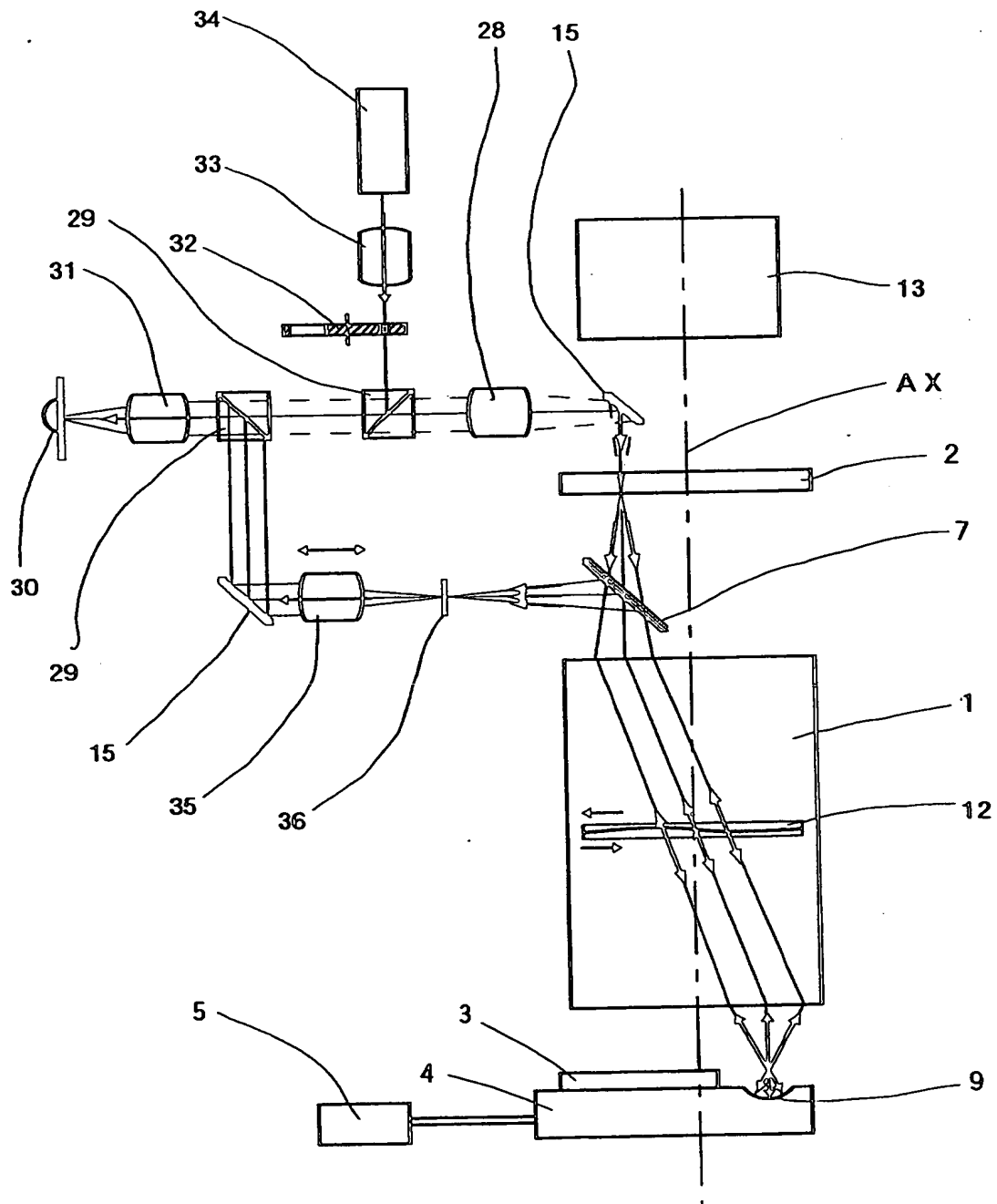
【図 8】



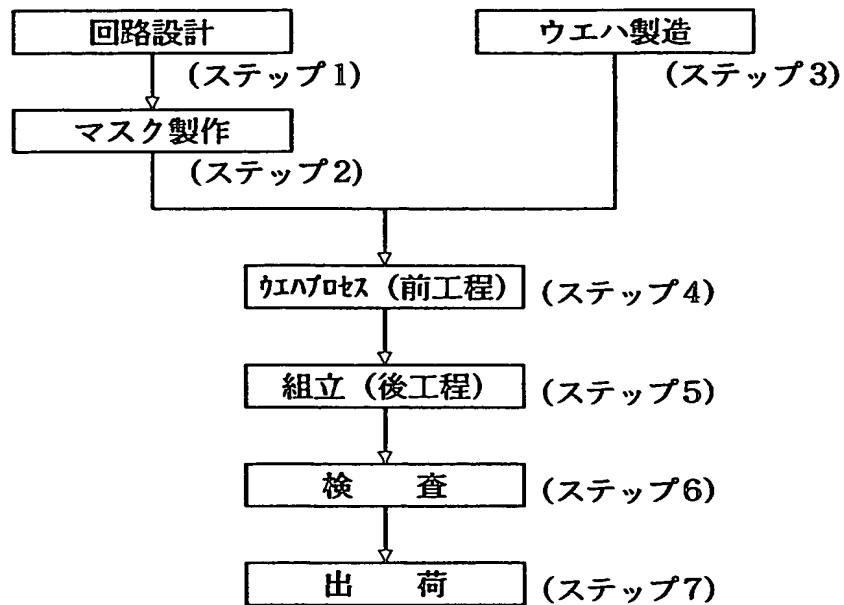
【図 9】



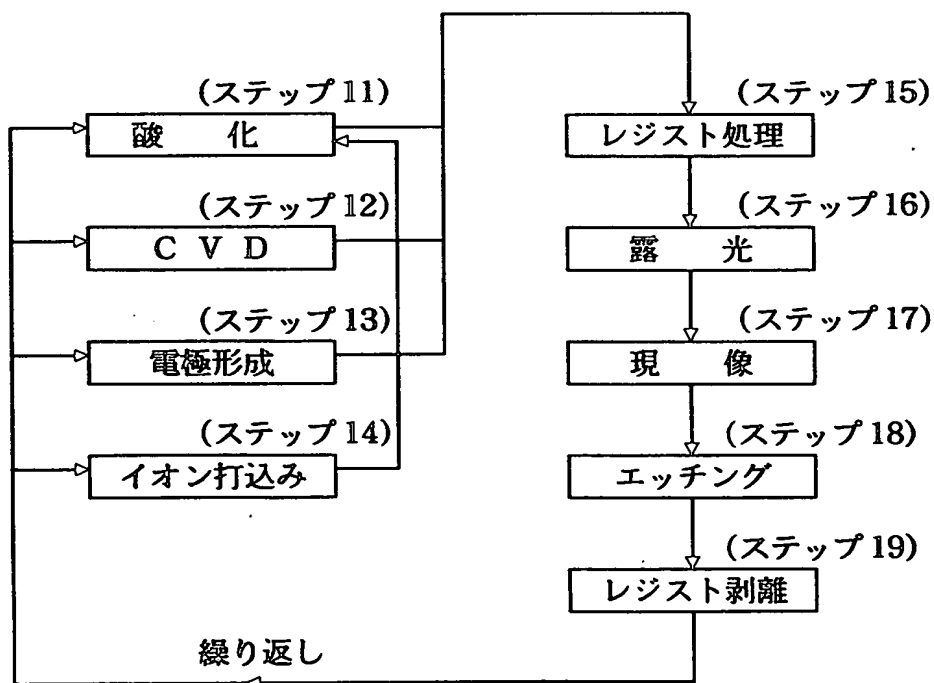
【図 10】



【図 1 1】



【図 1 2】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 マスク上のパターンをウエハ上に投影する投影レンズの球面収差を高精度に測定し、高集積度のデバイスを容易に製造することができる投影露光装置及びそれを用いたデバイスの製造方法を得ること。

【解決手段】 第 1 物体の転写用パターンを第 1 の照明条件で照明する第 1 の照明手段と、該第 1 の照明手段で照明した第 1 物体の転写用パターンを第 2 物体に投影する投影光学系と、該第 1 の照明条件と異なる第 2 の照明条件と、該第 2 の照明手段で照明した特定パターンを該投影光学系で結像させ、該特定パターンの像の光強度分布を検出する光強度検出手段と該光強度検出手段からのデータに基づいて該投影光学系の波面収差を測定する波面収差測定手段と、を有していること。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000001007]

1. 変更年月日	1990年 8月30日
[変更理由]	新規登録
住 所	東京都大田区下丸子3丁目30番2号
氏 名	キヤノン株式会社